

Compound semiconductor light-emitting device of gallium nitride series

Publication number: CN1176498

Publication date: 1998-03-18

Inventor: MASAAKI ONOMURA (JP); KAZUSUKE ITATANI (JP); GENICHI HATAKOSHI (JP)

Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO (JP)

Classification:

- International: **H01S5/00; H01S5/042; H01S5/323; H01S5/343;**
H01S5/30; H01S5/00; (IPC1-7): H01L33/00; H01S3/19

- European: H01S5/042C

Application number: CN19971018284 19970908

Priority number(s): JP19960236743 19960906

Also published as:

US6067309 (A1)

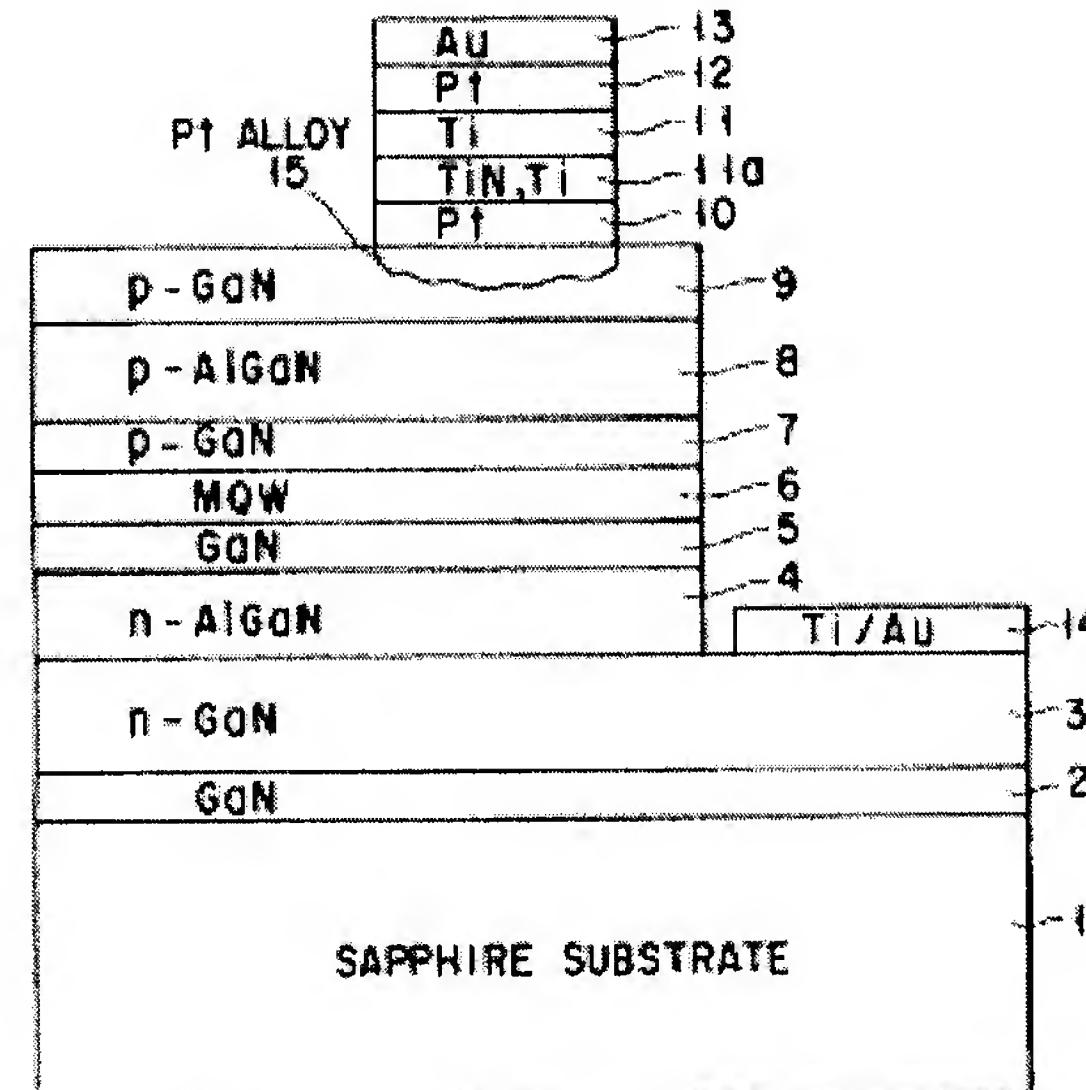
JP10084160 (A)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for CN1176498

Abstract of corresponding document: **US6067309**

There is disclosed a compound semiconductor light-emitting device of gallium nitride series having high reliability, which can be operated by a low threshold current and a low operation voltage without deterioration. The device comprises a p-type semiconductor structure having high carrier concentration, which can easily form a low resistance p-side electrode, and which can uniformly implant carriers to an active layer highly efficiently. A p electrode contact layer having Mg added thereto is used as a p-type semiconductor layer. At least a Gax2Iny2Alz2N ($x_2+y_2+z_2=1$, $0 < x_2 \leq 1$, $0 \leq y_2 \leq 1$, $0 \leq z_2 \leq 1$) smoothing layer is formed on an active layer than the p-type contact layer. On a surface of the p-type contact layer, there is formed a layered structure having a Pt layer, and a Ti layer containing TiN, and a Ti layer in order. An alloy, formed of Pt-semiconductor, is formed between the p-type contact layer and the Pt layer.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl⁶

H01L 33/00

H01S 3/19



[12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 97118284.1

[43]公开日 1998年3月18日

[11]公开号 CN 1176498A

[22]申请日 97.9.8

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所
代理人 孙敬国

[30]优先权

[32]96.9.6 [33]JP[31]236743 / 96

[71]申请人 东芝株式会社

地址 日本神奈川

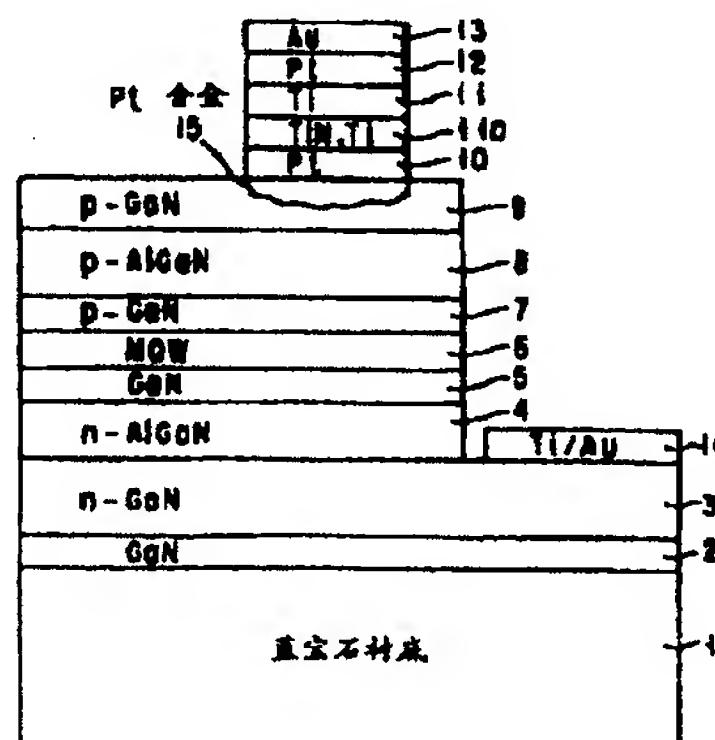
[72]发明人 小野村正明 板谷和彦
波多腰玄一

权利要求书 5页 说明书 13页 附图页数 10页

[54]发明名称 氮化镓序列的复合半导体发光器件

[57]摘要

高可靠性氮化镓序列的复合半导体发光器件可用低门限电流和低工作电压操作而不劣化性能。它包括具有高载流子浓度容易形成低电阻 p 型电极并均匀有效地将载流子注入有源层的 p 型半导体结构。将掺 Mg 的 p 电极接触层用作 p 型半导体层。在源层上至少形成 $Ga_{x_2}In_{y_2}Al_{z_2}N$ ($x_2+y_2+z_2=1$, $0 < x_2, z_2 < 1$, $0 < y_2 < 1$) 光滑层。p 型接触层表面上形成具有 Pt 层、包含 TiN 的 Ti 层和 Ti 层的层叠结构。在 p 型接触层和 Pt 层之间形成 Pt 半导体制成的合金。



说 明 书

氮化镓序列的复合半导体发光器件

5 本发明涉及诸如氮化镓序列的紫蓝半导体激光器(下文称为 LD)或具有高发光度的氮化镓序列的蓝/绿发光二极管(下文称为 LED)的氮化镓序列的复合半导体发光器件。

传统的短波半导体激光器已被改进到这样一种程度，从而运用 InGaAlP 的 600nm 带光源可以执行对光盘的读/写，并且已经将它讨诸实际应用。

10 为了进一步改进录制密度，已发展了短波蓝半导体激光器。振荡波短的激光器束在减小收敛尺寸并改进录制密度方面是十分有用的。

由于这一原因，近来认为诸如 GaN,InGaN,GaAlN,InGaAlN 的氮化镓序列的复合半导体发光器件是短波半导体激光器的材料，以改进对于高密度光盘系统的应用。

15 例如，在运用 GaN 序列材料的半导体激光器中，证实具有 380 至 417nm 波长的室温脉冲振荡。然而，在运用 GaN 序列材料的半导体激光器中，不能得到令人满意的特性，室温脉冲振荡的门限电压范围在 10 到 40v 之间，而且值的变化大。

这种变化是由于在氮化镓序列的复合半导体层的晶体生长中出现的困难和大的器件电阻引起的。更准确地说，不能形成具有光滑表面和高载流子浓度的 p 型氮化镓序列的复合半导体层。此外，由于 p 侧电极的接触电阻很高，要产生大幅度的电压降，因而即使脉冲振荡起作用，产生的热量和金属反应仍会毁坏半导体层。考虑到模拟值，除非把门限电压减到小于 10v，否则不能获得室温连续振荡。

此外，当注入激光生成所必需的电流时，大电流局部流动并且载流子不能均匀地注入有源层，而且发生器件的瞬时损坏。结果，不能获得激光的连续生成。

于是，为了实现由在光盘中用到的低门限电流和低门限电压操作的具有高可靠性的氮化镓序列的紫蓝半导体激光器，下列要点是重要的：

特别地，将载流子有效均匀地注入有源层并减小由电极接触引起的电压降是重要的。

30 然而，在现有情况下，完全执行这些要点是困难的。

如上所述，在氮化镓序列的复合半导体激光器中，要获得具有良好的 p 型氮化镓序列并没有小孔缺陷的复合半导体激光器是困难的。此外，由于 p 侧电极接触电阻很高，所以电极接触产生大的电压降。此外，由于不能将载流子均匀地注入有源层，所以难以实现具有低门限电流及低工作电压的器件。

在 GaN 序列的发光器件中, 由于 p 侧电极接触电阻高, 所以提高了工作电压。此外, 作为 p 侧电极金属的镍和形成 p 侧半导体层的镓彼此起反应、熔化, 导电性恶化。结果, 难以连续生成激光。

本发明的目的在于通过运用可以容易地形成低电阻 p 侧电极并可均匀有效地 5 将载流子注入有源层的具有高载流子浓度的 p 型氮化镓序列的复合半导体结构, 提供具有高可靠性的氮化镓序列的复合半导体发光器件, 它可由低门限电流和低 工作电压操作而没有损坏。

为了达到上述目的, 提供一种具有氮化镓序列($Ga_{x_1}In_{y_1}Al_{z_1}N$, $x_1 + y_1 + z_1 = 1$, $0 \leq x_1, y_1, z_1 \leq 1$)的复合半导体的氮化镓序列的复合半导体发光器件, 复合半 10 导体发光器件包括:

- 衬底;
- 半导体层, 它在衬底上形成;
- n 型半导体层, 它在半导体层上形成, 具有至少一个 n 型包层;
- 有源层, 它在 n 型半导体层上形成;
- p 型半导体层, 它在有源层上形成, 具有至少一个 p 型包层;
- 15 $Ga_{x_2}In_{y_2}Al_{z_2}N(x_2 + y_2 + z_2 = 1, 0 \leq x_2, z_2 \leq 1, 0 < y_2 \leq 1)$ 的光滑层, 它在 p 型半导体层或有源层上形成;
- p 型接触层, 它在 p 型半导体层上形成, 具有添加到其上的 Mg;
- p 侧电极, 它在 p 型接触层上形成; 和
- 20 n 侧电极, 它在 n 型半导体层或衬底上形成。

于是, 在至少包含 In 元素的 GaInAIN 光滑层上形成添加 Mg 的氮化镓序列 p 型半导体层, 诸如多孔微缺陷的晶体缺陷的数量很少, 而且可以增加 p 型半导体 层的受主浓度。

有源层可以是一种多量子阱结构, 具有至少由 $Ga_{x_3}In_{y_3}Al_{z_3}N$ 形成的阱层($x_3 + 25 y_3 + z_3 = 1, 0 \leq x_3, y_3, z_3 \leq 1$)和 $Ga_{x_4}In_{y_4}Al_{z_4}N(x_4 + y_4 + z_4 = 1, 0 \leq x_4, y_4, z_4 \leq 1)$ 形成的势垒层, 二者交替成层。

此时, 当 In 成分 y_2 比阱层的 In 成分 y_3 低时, 形成的 $Ga_{x_2}In_{y_2}Al_{z_2}N$ 光滑层, 其厚度比阱层的厚。因此, 增大了有源层 6 的有效折射系数, 从而可以改进光导特性。在 $Ga_{x_2}In_{y_2}Al_{z_2}N$ 光滑层中, p 型载流子浓度可为 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 或更高。因此, 可以防止电子溢出, 而且可由低门限值生成激光。

另一方面, 当 In 成分 y_2 比阱层的 In 成分 y_3 高时, 形成的 $Ga_{x_2}In_{y_2}Al_{z_2}N$ 光滑层, 其厚度比阱层的薄。因此, 光滑层起到饱和吸收层的作用, 从而可以减小激光器的噪声。

此外, p 型接触层可具有 Pt 半导体制成的合金层, 在表面上有选择地形成。

p 侧电极具有层叠结构，由在合金层上形成的 Pt 层、在其上包含 TiN 的 Ti 层和其上的 Ti 层制成。可以通过第二 Pt 层在 Ti 层上形成 Au 层。

因此，稍稍将作为电极金属的薄 Pt 层扩散到 P 型半导体层，从而增加有效电极接触区域。此外，Pt 元素起到在添加 Mg 的同时引入的氢元素和由于晶体生长后暴露在空气中引起的表面氧化物薄膜的还原催化剂的作用。结果，可改进 Mg 的活化比率，并可提高有效受主浓度。此外，上部分的 Ti 层与氮化镓序列的半导体层的氮元素反应，从而形成十分稳定的 TiN。结果，可以抑制作为上部分的电极金属的第二 Pt 层和 Au 层向下扩散，并可提高晶体的质量。

此外，当 p 型接触层包含碳时，在包含 Ti 的 Ti 层和 Pt 层之间的边界的碳浓度比 p 型接触层的碳浓度高。

当 p 型接触层包含氧时，在包含 Ti 的 Ti 层和 Pt 层之间的边界的氧浓度比 p 型接触层的氧浓度高。由 Pt 和 p 型接触层制成的合金层，其 MgO 紧紧邻接着添加在 p 型接触层中的 Mg。

换句话说，在作为催化剂的 Pt 将半导体层的碳和氧移到 p 型接触层外面的过程中，由包含 TiN 的 Ti 层阻止它们。结果，可引起与上述相同的功能。此外，对于 p 型接触层具有低的接触电阻的 MgO 更减小了有效电极接触电阻。

当 p 型接触层包含氢时，在第二 Pt 层和 Au 层之间的边界的氢浓度比 p 型接触层的氢浓度高。

换句话说，作为催化剂的 Pt 将半导体层的氢移到 p 型接触层的外面。结果，可引起与上述相同的功能。

n 侧电极可具有层叠结构，在其中依次形成的 Ti 层和 Au 层。当衬底是绝缘材料时，在暴露于衬底表面的 n 型半导体层上形成 n 侧电极。当衬底是诸如 SiC 的导电衬底时，在衬底的后表面上形成 n 侧电极。

此外，在内部条状结构中，根据本发明，提供一种具有氮化镓序列 ($\text{Ga}_{x_1}\text{In}_{y_1}\text{Al}_{z_1}\text{N}$, $x_1 + y_1 + z_1 = 1$, $0 \leq x_1, y_1, z_1 \leq 1$) 复合半导体的氮化镓序列的复合半导体发光器件，复合半导体发光器件包括：

衬底；

半导体层，它在衬底上形成；

n 型包层，它在半导体层上形成；

n 型波导层，它在 n 型包层上形成；

有源层，它在 n 型波导层上形成；

p 型波导层，它在有源层上形成，具有条状脊；

阻挡层(block layer)，它在沿着 p 型波导层的脊的侧面部分上有选择地形成；

$\text{Ga}_{x_2}\text{In}_{y_2}\text{Al}_{z_2}\text{N}$ ($x_2 + y_2 + z_2 = 1$, $0 \leq x_2, z_2 \leq 1$, $0 < y_2 \leq 1$) 的光滑层，它在

阻挡层和 p 型波导层的脊上形成;

p 型包层，它在 $Ga_{x_2}In_{y_2}Al_{z_2}N$ 光滑层上形成;

p 型接触层，它在 p 型包层上形成，具有添加到其上的 Mg；

p 侧电极，它在 p 型接触层上形成；和

5 n 侧电极，它在 n 型半导体层或衬底上形成。

在这种情况下，阻挡层可由 $Ga_{x_5}In_{y_5}Al_{z_5}N$ ($x_5 + y_5 + z_5 = 1$, $0 \leq x_5$, $y_5 \leq 1$, $0 < z_5 \leq 1$) 制成。这适合于抑制裂缝。此外，阻挡层可由 $Ga_{x_5}In_{y_5}Al_{z_5}N$ ($x_5 + y_5 + z_5 = 1$, $0 \leq x_5$, $z_5 \leq 1$, $0 < y_5 \leq 1$) 制成。这适合于横向模的控制。上面解释了有源层、电极结构、和光滑层的一些状况。

10 此外，通过尽可能满足下列条件，可获得上述本发明的适当的特殊形式：

(1) 添加到 p 型电极接触层的 Mg 的量在表面附近具有高浓度分布。

(2) 由成分互相不同的两种或更多种的氮化镓序列的复合半导体形成 p 型电极接触层。

(3) 形成 GaInAlN 光滑层，使有源层是一种多量子阱结构。

15 (4) 当在 p 型电极接触层的下部存在 n 型导电层时，至少将一个 GaInAlN 光滑层插入 p 型导电层和 n 型导电层之间。换句话说，重要的是在上层形成电极接触层，而不是在 GaInAlN 光滑层上形成电极接触层在 GaInAlN 光滑层与 P 型电极接触层之间是形成包层还是波导层，这倒并不重要。

(5) 形成与 p 型电极接触层接触的电极结构，从而在厚度为 10nm 或更少的薄 20 Pt 层的上部形成 Ti/Pt/Au 层。

在下面的叙述中将列出本发明的其它目的和好处，从该叙述一部分变得明显，或通过本发明的实践可知。通过在附加的权利要求书中特别指出的工具和组合的方法可以实现并获得本发明的目的和好处。

插入并构成说明书的一部分的附图显示了本发明的较佳实施例，并与上面的 25 总体描述及下面将要给出的较佳实施例的详细说明一起用以说明本发明的原理。

图 1 是示出根据本发明第一实施例的蓝色半导体激光器示意结构的剖面图；

图 2 是示出根据本发明第二实施例的蓝色半导体激光器示意结构的剖面图；

图 3 是示出根据本发明第三实施例的蓝色半导体激光器示意结构的剖面图；

30 图 4 是示出根据本发明第四实施例的蓝色半导体激光器示意结构的剖面图；

图 5 是示出根据本发明第五实施例的蓝色半导体激光器示意结构的剖面图；

图 6 是示出该实施例的变更示意结构的剖面图；

图 7 是示出根据本发明第六实施例的蓝色半导体激光器示意结构的剖面图；

图 8 是示出该实施例的变更示意结构的剖面图；

图 9 是示出根据本发明第七实施例的蓝色半导体激光器示意结构的剖面图；

图 10 是示出该实施例的变更示意结构的剖面图；

图 11 是示出根据本发明第八实施例的蓝色半导体激光器示意结构的剖面图；

5 图 12 是示出该实施例的变更示意结构的剖面图；

图 13 是示出根据本发明第九实施例的蓝色半导体激光器示意结构的剖面图；

图 14 是示出该实施例的变更示意结构的剖面图；

图 15 是示出根据本发明第十实施例的蓝色半导体激光器示意结构的剖面图；

图 16 是示出该实施例的变更示意结构的剖面图。

参照附图，将叙述本发明的实施例。

(第一实施例)

图 1 是示出根据本发明第一实施例的蓝色半导体激光器示意结构的剖面图。

15 蓝色半导体激光器具有多层结构，其中，多层结构具有通过 MOCVD 在蓝宝石衬底 1 上依次形成的 GAN 缓冲层 2、n 型 GaN 接触层(掺 Si $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 4 μm)3、n 型 Al_{0.2}Ga_{0.8}N 包层(掺 Si, $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, 0.3 μm)4、GaN 波导层(未掺杂, 0.1 μm)5、有源层 6、p 型 GaN 波导层(掺 Mg, 0.3 μm)7、p 型 Al_{0.2}Ga_{0.8}N 包层(掺 Mg, $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, 0.3 μm)8 和 p 型 GaN 接触层(掺 Mg, $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 1 μm)9。

20 在 p 型 GaN 接触层 9 上，具有依次层叠的厚度为 10nm 的 Pt 层 10、包括由热处理的 TiN(后面将说明)的 Ti 层 11a、厚度为 30nm 的 Ti 层 11、厚度为 10nm 的 Pt 层 12 和厚度为 1 μm 的 Au 电极焊接片 13，从而形成 p 型电极。

Au 电极焊接片 13 的最上面表面的部分和 p 型 GaN 接触层 9 通过干腐蚀向上移到达到 n 型 GaN 接触层 3 的部分。因此，在露出的 n 型 GaN 接触层 3 上，形成 n 侧电极 14。

25 由互相交替层叠以总共形成 10 层的 In_{0.2}Ga_{0.8}N 多量子阱(未掺杂, 2.5nm)和 In_{0.05}Ga_{0.95}N 势垒壁层(未掺杂, 5nm)形成有源层 6。此外，在 p 型 GaN 波导层、p 型 AlGaN 包层和 p 型 GaN 层中的杂质不限制于 Mg，而可以是诸如 Zn 的任何 p 型杂质。

30 接着，下面将解释蓝色半导体激光器的制造方法和它的功能。

在图 1 中，有一种 MOCVD 法在蓝宝石衬底 1 上形成每个 GaN 缓冲层 2-p 型 GaN 接触层 9。

在蓝色半导体激光器中，将包含 In 的 GaInAlN 光滑层用作 InGaN 量子阱有源层 6，并且在其上形成添加 Mg 的氮化镓序列的半导体 18 和 19。因此，GaInAlN

光滑层阻止从衬底 1 扩散的小孔缺陷和诸如裂缝与跃迁的晶体缺陷。结果，可以在 p 侧电极侧面上获得光滑 p 型半导体层。

根据本发明的发明者所做的实验，即使不形成 GaInAlN 光滑层，那么当 p 型 GaN 接触层 9 的厚度为 $0.6\mu\text{m}$ 或更多时，可将多孔缺陷埋入 p 型 GaN 接触层 9 的表面中。换句话说，除了 GaInAlN 光滑层的形成以外，将 p 型 GaN 接触层 9 的厚度设为 $0.6\mu\text{m}$ 或更多。因此，一定可以改进 P 型半导体层的质量。

接着，在 p 型 GaN 接触层 9 表面的 $10\text{ }\mu\text{m}$ 宽度区域上依次形成 Pt(5nm)/Ti(30nm)/Pt(10nm)/Au(1 μm) 层。

然后，当在 350°C 的氮气中向整个衬底作热处理时，Pt 向下扩散的深度最大为层叠膜的厚度三倍的深度。然后，Pt 是与 p 型 GaN 接触层 9 的 Ga 起反应的固相，从而形成 Pt 半导体的合金层 15。与此同时，Ti 是与从 p 型 GaN 接触层 9 向上扩散的 N 起反应的固相。结果，Ti 和 N 互相稳定地结合起来，在 Ti 层和 Pt 层之间的边界表面上形成包括 TiN 的 Ti 层 11a。通过这种热处理，Pt 起催化剂的作用，并且将防止 Mg(p 型掺杂物)作为受主活化的氢元素与碳元素、或者在形成电极前由空气暴露使之与接触层 9 的表面组合的氧元素从薄膜移出。结果，增高了受主的浓度，而且 Mg 的活化比率大体上变成 100% (由于在生长时期的各种原因，将氢、碳和氧元素分布在多层结构中，其中多层结构的各半导体层在上述热处理前大体上保持固定的浓度)。

此外，在包括 TiN 的 Ti 层 11a 和 Pt 层 10 之间的边界表面上，碳和氧元素的每一种元素的浓度比在 p 型 GaN 接触层 9 中的每一种元素的浓度高。换句话说，在由 Pt 催化剂将半导体层的碳和氧元素移到外面的过程中，它们被包括 TiN 的 Ti 层 11a 阻制。

此外，在 Pt 层 12 和 Au 层 13 之间的边界表面上，氢浓度比 p 型 GaN 接触层 9 中的氢浓度高。换句话说，在由 Pt 催化剂将半导体层的碳和氧元素移到外面的过程中，它们被 Au 层 13 阻制。

接着，形成包括 P 侧电极的平台形以形成 n 侧电极 14。在出现在平台形下部的 n 型 GaN 接触层 3 上形成由 Ti/Au 制成的 n 侧电极 14。在这种情况下，在形成 n 侧电极 14 后，可以形成 p 侧电极。此外，将蓝宝石衬底 1 镜面抛光到 $50\mu\text{m}$ ，并在与 p 侧电极的纵向方向垂直的方向将它劈开。从而，形成长度为 1mm 的激光芯片。

以 80mA 的门限电流在室温下连续生成上述的蓝色半导体激光。在这种情况下，波长为 420nm ，工作电压为 7v ，而且在 50°C 和 30mw 驱动的条件下，器件的寿命为 5000 小时。在这种激光器的情况下，增大了 Pt 层 10 和 P 型 GaN 接触层 9 之间的实际接触面积。因此，将电阻减小到 $1 \times 10^{-5}\Omega\text{ cm}^2$ 。此外，将 p 型 GaN

接触层 9 的 Mg 活化比率提高到大约 100%。结果，得到高载流子浓度，并通过 p 型 AlGaN 包层 8 将载流子均匀地注入有源层 6。

此外，在其中提供两步掺杂的蓝色半导体激光器中，进一步改进了特性。在这种情况下，两步掺杂意味着在从表面到 $0.2\mu\text{m}$ 的范围内将添加到上述第一实施例的 p 型 GaN 接触层的 Mg 的量加倍，并在 $0.8\mu\text{m}$ 的剩余范围内将它设为 $1/2$ 。更准确地说，在这样构造的半导体激光器中，与第一实施例相比较，将工作电压进一步减小到 6.5V 。通过用两步掺杂的方法形成 p 型接触层，获得减小表面上的电极接触电阻有利之处，另一个优点是增加了接触层下部的电阻以控制水平方向的漏泄电流。

根据上述第一实施例，在至少包含 In 的 GaInAlN 光滑层上形成添加 Mg 的氮化镓序列的半导体层，从而减小诸如小孔缺陷的晶体缺陷。

此外，在 p 型 GaN 接触层 9 上形成 Pt 层 10，而且稍微将 Pt 层扩散到 p 型 GaN 接触层 9。因此，增大了有效电极接触面积。Pt 元素对由于各种原因存在于 p 型半导体层中的氢元素、碳元素和氧元素的还原催化剂的作用。然后，将这些杂质元素从 p 型半导体层移出。结果，可以改进 Mg 的活化比率，并且可以增大有效受主浓度。

此外，在 Pt 层 10 上形成 Ti 层 11，而且 Ti 层与氮化镓序列半导体层的 N 元素起反应，从而形成非常稳定的 TiN。结果，可以阻止作为上电极金属的第二 Pt 层 12 和 Au 层 13 向下扩散。

利用这些 GaInAlN 光滑层，Pt 层 10 和 Ti 层 11 的各种优点，可以提高晶体的质量。

因此，可以实现具有高载流子浓度的 p 型氮化镓序列的复合半导体结构，它可以容易地形成低电阻 p 侧电极，而且可以将载流子均匀有效地注入有源层。然后，可以限制由电极接触产生的电压降，在低的低门限电流和低的工作电压条件下，没有发生特性劣化和损坏，从而可以产生良好的可靠性。

(第二实施例)

接着，将解释第二实施例的蓝色半导体激光器。图 2 是示出蓝色半导体激光器示意结构的剖面图。在图 2 中，将与图 1 相同的标号添加到为图 1 共有的部分，并省略具体的解释。于是，只介绍与图 1 不同的部分。

与第一实施例相比较，该实施例的半导体激光器进一步改进了接触电阻。更准确地说，图 2 显示将 p 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 接触层 21 插在 p 型 GaN 层 9 和 Pt 电极 10 之间的结构。

p 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 接触层 21 是半导体层(掺 Mg， $1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$, $0.2\mu\text{m}$)。

除了 p 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 接触层 21 的形成以外，用与第一实施例相同的方法制造

这种蓝色半导体激光器。

以 75mA 的门限电流在室温下连续生成上述的蓝色半导体激光。在这种情况下，波长为 420nm，工作电压为 6V，而且器件在 50°C 和 30mW 驱动的条件下的寿命为 5000 小时。根据这种激光器，在与 Pt 层 10 接触的接触层 21 中，由于带隙比 p 型 GaN 层 9 的带隙窄，减小了肖特基势垒。因此，和实际接触面积增加的作用一起，将电极接触电阻减小到 $7 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}^2$ 。此外，接触层 21 的 Mg 活化比率提高到大约 100%。结果，获得了高载流子浓度，并且通过 p 型 AlGaN 包层 8 将载流子均匀地注入有源层 6。

于是，根据第二实施例，将带隙比 p 型 GaN 层 9 窄的接触层 21 插在 p 型 GaN 层 9 和 Pt 电极 10 之间。结果，除在第一实施例中所解释的好处以外，可以进一步减小具有 p 侧电极的接触电阻，从而可以改善工作电压的减小。

(第三实施例)

接着，将解释第三实施例的蓝色半导体激光器。图 3 是示出蓝色半导体激光器示意结构的剖面图。在图 3 中，将与图 1 相同的标号添加到为图 1 共有的部分，并省略具体的解释。于是，只介绍与图 1 不同的部分。

与第一实施例有所不同，该实施例的半导体激光器具有一种内部条状结构。特别是，如图 3 所示，在内部条状结构中，形成多个 n 型 GaN 电流阻挡层 31 ($1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $0.5 \mu\text{m}$) 和厚度为 $0.1 \mu\text{m}$ 的 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 光滑层 32。其中，在 p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 包层 8 上有选择地形成多个 n 型 GaN 电流阻挡层 31，而在包层 8 和每一电流阻挡层 31 上形成 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 光滑层 32。

类似的，在 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 光滑层 32 上，形成 p 型 GaN 接触层 9。

除了由于内部条状结构使得用 MOCVD 方法生长的次数为三次以外，通过与第一实施例相同的方法制造这种蓝色半导体激光器。

以 70mA 的门限电流在室温下连续生成上述蓝色半导体激光。在这种情况下，波长为 420nm，工作电压为 6.5V，而器件在 50°C 和 30mW 驱动的条件下的寿命为 5000 小时。根据这种激光器，除了在第一实施例中所解释的优点以外，由于形成了内部条状结构，所以增大了 p 侧电极的面积，并将 p 侧电极接触电阻减小到 $5 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}^2$ 。换句话说，内部条状结构进一步改进了低电压工作。

于是，根据第三实施例，除了在第一实施例中解释的优点以外，还可以减小接触电阻。

即使在 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 光滑层 32 上形成 p 型 GaN 接触层 9，光滑层 32 也可阻止小孔缺陷的扩散。因此，可以提高晶体的质量。

(第四实施例)

接着，将解释第四实施例的蓝色半导体激光器。图 4 是示出蓝色半导体激光

器示意结构的剖面图。在图 4 中, 将与图 1 相同的标号添加到为图 1 共有的部分, 并省略具体的解释。于是, 只介绍与图 1 不同的部分。

与第一实施例有所不同, 该实施例的半导体激光器有一种埋藏内部条状结构。特别是, 如图 4 所示, 形成 GaN 波导层 5 到 p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 包层 8 以具有宽度为 $10\mu\text{m}$ 的平台结构。然后, 在平台结构的两端上形成无掺杂的 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 阻挡层 41。此外, 在 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 阻挡层 41、p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 包层 8 和 p 型 GaN 接触层 9 之间形成 InGaN 光滑层 42。

除了由于埋藏内部条状结构使得用 MOCVD 方法生长的次数为三次以外, 通过与第一实施例相同的方法制造这种蓝色半导体激光器。

以 60mA 的门限电流在室温下连续生成上述蓝色半导体激光。在这种情况下, 波长为 420nm , 工作电压为 5V , 而器件在 50°C 和 30mW 驱动的条件下的寿命为 5000 小时。根据这种激光器, 除了在第一实施例中所解释的优点以外, 由于形成了埋藏的内部条状结构, 所以增大了 p 侧电极的面积, 而且将 p 侧接触电阻减小到 $5 \times 10^{-6}\Omega \text{ cm}^2$ 。换句话说, 通过由厚度比临界薄膜厚度小的薄膜量子阱有源层和埋藏的内部条状结构引起的振荡门限的增益电平的减小, 进一步改进了低电压工作。

于是, 根据第四实施例, 除了在第一实施例中解释的好处以外, 可以形成内部条状结构。

(第五实施例)

接着, 将解释第五实施例的蓝色半导体激光器。图 5 是示出蓝色半导体激光器示意结构的剖面图。在图 5 中, 将与图 1 相同的标号添加到为图 1 共有的部分, 并省略具体的解释。于是, 只介绍与图 1 不同的部分。

与第一实施例有所不同, 该实施例的半导体激光器具有一种内部条状结构。特别是, 如图 5 所示, 通过 InGaN 光滑层 42, 在 GaN 波导层 7 和 p 型 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{N}$ 包层 8 之间形成一个结。然后, 由无掺杂的 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 阻挡层 51 制成内部条状结构。

在有源层 6 上形成的 GaN 波导层 7 是宽度为 $10\mu\text{m}$ 、厚度为 $0.2\mu\text{m}$ 的平台形的无掺杂半导体层。GaN 波导层 7 的平台下部具有 $0.1\mu\text{m}$ 的厚度, 而且在它的上面形成无掺杂的 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 阻挡层 51。

p 型 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{N}$ 包层 8 有一宽度为 $10\mu\text{m}$ 的窗口。通过 InGaN 光滑层 42, 在 GaN 波导层 7 和无掺杂的 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 阻挡层 51 的平台上部形成 p 型 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{N}$ 包层 8, 从而窗口与 GaN 波导层 7 的平台上部相对。p 型 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{N}$ 包层 8 是一掺 Mg, $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, (窗口)厚度为 $0.3\mu\text{m}$)的层。

除了由于内部条状结构使得用 MOCVD 方法生长的次数为三次以外, 通过与

第一实施例相同的方法制造这种蓝色半导体激光器。

以 60mA 的门限电流在室温下连续生成上述蓝色半导体激光。在这种情况下，波长为 420nm，工作电压为 5V，而器件在 50°C 和 30mW 驱动的条件下的寿命为 5000 小时。在这种激光器的情况下，具有与第四实施例相同的优点。

5 (改进)

如图 6 所示，可用 InGaN 阻挡层 52 代替 AlGaN 阻挡层 51。运用 InGaN 层 52 的改进还可以控制横向模阱。

(第六实施例)

接着，将解释第六实施例的蓝色半导体激光器。图 7 是示出蓝色半导体激光器示意结构的剖面图。在图 7 中，将与图 1 相同的标号添加到为图 1 共有的部分，并省略具体的解释。于是，只介绍与图 1 不同的部分。

与将有源层(MQW)6 用作包含 In 的 GaInAlN 光滑层的第一实施例有所不同，在 p 型 AlGaN 包层 8 和 p 型 GaN 波导层 7 之间形成包含 In 的 GaInAl 序列材料的 InGaN 光滑层 61。

15 可在其中 In 成分超过例如 0 和 0.3 或更小的范围内形成 InGaN 光滑层 61。如果 In 成分比有源层 6 的量子阱层的 In 成分高，那么将 InGaN 光滑层 61 的厚度形成比量子阱层的厚度薄。例如，在第一实施例中，运用厚度为 2.5nm 的 $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ 阵层。根据这种情况，第六实施例的 InGaN 光滑层 61 运用厚度为 1.5nm 的 $In_{0.3}Ga_{0.7}N$ 层。

20 于是，在具有高 In 成分和厚的薄膜厚度的情况下，光滑层起到过饱和吸收层的作用。因此，本实施例的结构可以起到低噪声激光器的作用，这对于例如光盘系统是必要的。

如果 In 成分比有源层 6 的量子阱层的 In 成分低，那么将 InGaN 光滑层 61 的厚度形成比量子阱层的厚度厚。例如，在第一实施例中，运用厚度为 2.5nm 的 $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ 阵层。根据这种情况，本实施例的光滑层 61 运用厚度为 0.1μm 的 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 层。可用如图 8 所示的 p 型 GaN 波导层 7 替代 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 光滑层 61。

于是，在具有低 In 成分和高薄膜厚度的情况下，增大了有源层 6 的有效折射系数，从而可以改进光导(或限制)特性。根据光导特性的提高，即使减小薄膜厚度，p 型 AlGaN 包层 8 也有效。

30 在 In 成分低的情况下，增大薄膜厚度，并将 p 型载流子浓度设为 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 或更大。因此，可以防止电子的溢出，而且能以低门限值生成激光。

(第七实施例)

接着，将解释第七实施例的蓝色半导体激光器。图 9 是示出蓝色半导体激光器示意结构的剖面图，而图 10 是示出变更的剖面图。在这些图中，将与图 2 相

同的标号添加到为图 2 共有的部分，并省略具体的解释。于是，只介绍与图 2 不同的部分。

与具有 p 型 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 接触层 21 的第二实施例相比，如图 9 所示，在 p 型 AlGaN 包层 8 和 p 型 GaN 波导层 7 之间形成包含 In 的 GaInAlN 序列材料的 InGaN 光滑层 61，这与第六实施例相似。或者，如图 10 所示，形成 InGaN 光滑层 61 代替 p 型 GaN 波导层 7。

InGaN 光滑层 61 的成分和薄膜厚度与在第六实施例中解释的一样。上述结构可获得与第二和第六实施例相同的优点。

(第八实施例)

接着将解释第八实施例的蓝色半导体激光器。图 11 是示出蓝色半导体激光器示意结构的剖面图，而图 12 是示出变更的剖面图。在这些图中，将与图 3 相同的标号添加到为图 3 共有的部分，并省略具体的解释。于是，只介绍与图 3 不同的部分。

与具有内部条状结构的第三实施例比较，如图 11 所示，省略了 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 光滑层 32。然后，在 p 型 AlGaN 包层 8 和 p 型 GaN 波导层 7 之间形成包含 In 的 GaInAlN 序列材料的 InGaN 光滑层 61，这与第六实施例相同。或者，如图 12 所示，形成 InGaN 光滑层 61 代替 p 型 GaN 波导层 7。

InGaN 光滑层 61 的成分和薄膜厚度与在第六实施例中解释的相同。上述结构可获得与第三和第六实施例相同的优点。特别是，在具有阻挡层 31 的第八实施例中，通过增大有源层 6 的有效折射系数，增大了有源层 6 的等效折射系数，扩大了有源层 6 和阻挡层 31 之间折射系数的差异。结果，基本的横向模得以稳定，并减小了像散差异，从而可以实现适于光学系统的激光器。

(第九实施例)

接着将解释第九实施例的蓝色半导体激光器。图 13 是示出蓝色半导体激光器示意结构的剖面图，而图 14 是示出变更的剖面图。在这些图中，将与图 4 相同的标号添加到为图 4 共有的部分，并省略具体的解释。于是，只介绍与图 4 不同的部分。

与具有埋藏内部条状结构的第四实施例比较，如图 13 所示，省略了 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 光滑层 42。然后，在 p 型 AlGaN 包层 8 和 p 型 GaN 波导层 7 之间形成包含 In 的 GaInAlN 序列材料的 InGaN 光滑层 61，这与第六实施例相同。或者，如图 14 所示，形成 InGaN 光滑层 61 代替 p 型 GaN 波导层 7。

InGaN 光滑层 61 的成分和薄膜厚度与在第六实施例中解释的相同。上述结构可获得与第四和第六实施例相同的优点。

(第十实施例)

接着将解释第十实施例的蓝色半导体激光器。图 15 是示出蓝色半导体激光器示意结构的剖面图，而图 16 是示出变更的剖面图。在这些图中，将与图 5 相同的标号添加到为图 5 共有的部分，并省略具体的解释。于是，只介绍与图 5 不同的部分。

5 与具有内部条状结构的第五实施例比较，如图 15 所示，省略了 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 光滑层 42。然后，形成包含 In 的 GaInAlN 序列材料的 InGaN 光滑层 61 代替 p 型 GaN 波导层 7，这与第六实施例相同。

10 InGaN 光滑层 61 的成分和薄膜厚度与在第六实施例中解释的相同。上述结构可获得与第五和第六实施例相同的优点。特别是，在具有阻挡层 51 的第十实施例中，与第三实施例相同，基本的横向模得以稳定，并减小了像散差异，从而可以实现适于光学系统的激光器。如图 16 所示，根据本实施例，不用说，可用 InGaN 阻挡层 52 代替 AlGaN 阻挡层 51。

(其它实施例)

(p 侧电极结构)

15 在上述第一到第十实施例中，在形成 p 侧电极过程中，蒸发 Pt/Ti/Pt/Au 以形成 Pt/TiN/Pt/Au 的分层结构。本发明并不限制于这些实施例。代替 Ti 和 Au 之间的 Pt，可形成多个导电层或单个 Ni 或 Mo。原因在于，Ni 和 Mo 具有如 Pt 一样高的耐干腐蚀性，而且它们适合于干腐蚀处理。存在这样一种情况，其中在电极布线中需要具有多个导电层的结构。Ti 阻止每一导电层的材料向下扩散。Au 或 20 Al 较适于用作 p 侧电极的顶部。Au 适合于运用 Au 丝的布线装配，而且这可以防止 p 侧电极的表面氧化。也可将 Al 用于布线装配。此外，与 p 型 GaN 接触层接触的金属层不局限于 Pt，而可以是另一个金属层，例如 Pd 或 Ni。在这种情况下，金属层的厚度最好减薄到 50nm 或更小。

(N 侧电极结构)

25 在第一至第十实施例中，用 Ti/Au 制成 n 侧电极。然而，本发明不局限于上述实施例。可用 Al/Ti/Au 制成 n 侧电极。如果在形成 n 电极后，没有 400°C 或更高温度的加热过程的处理，那么 Al/Ti/Au 结构具有较低的接触电阻。

(相关发明)

30 以下将解释与上述本发明相关的发明。为了向 GaN 序列的 p 型半导体提供电流，形成钯(Pd)或 Pt 和 Ti 各含 1% 或更多的 p 型半导体层。因此，改进了工作电压的减小和加热值的控制。此外，防止了由构成元素的电传导引起的扩散，从而提高了可靠性。

例如，为了向六角形晶体结构的 III-V 族复合半导体器件的 p 型半导体层提供电流，形成包含每一种 1% 或更多的 Pd 或 Pt 和 Ti 的 p 型半导体层。因此，增大

了实际电极接触面积，而且将电极电阻减小到大约 $10^{-5}\Omega\text{ cm}^2$ 。此外，在离 GaN 序列的半导体表面浅的该区域中形成的层包括 Ti 和 N 的组合。结果，形成了稳定的防扩散层，而且可以抑制在通电时出现的元素扩散，并可阻止器件的劣化。

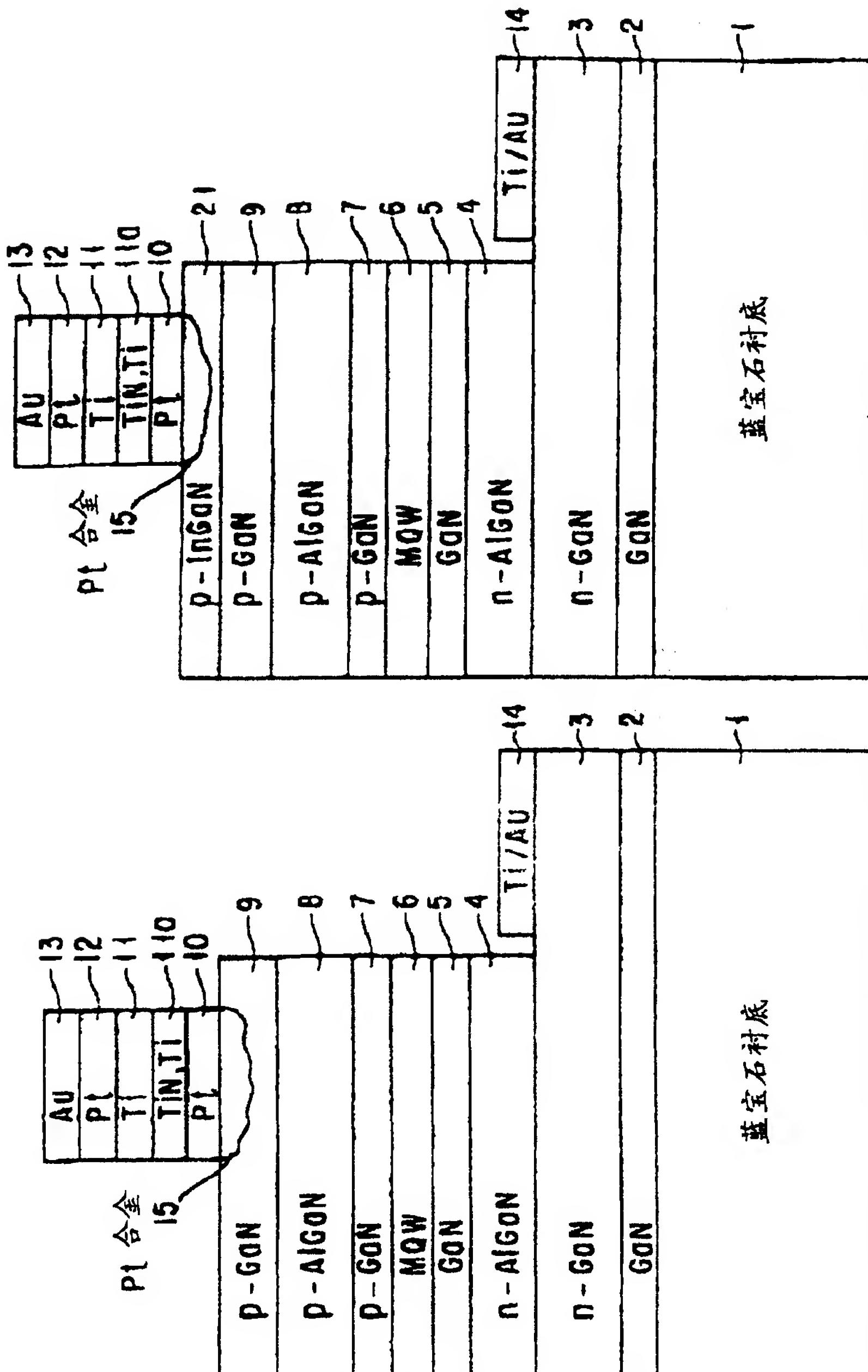
此外，将 p 型半导体层构造成 $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{Al}_z\text{N}$ ($0 \leq x,y,z \leq 1$, 和 $x + y + z = 1$) 半导体。因此，可以将对于每一种包含 1% 或更多的 Pd 或 Pt 和 Ti 的 p 型半导体层的电极电阻减小到 $10^{-6}\Omega\text{ cm}^2$ 。此外，在具有 Pd 或 Pt(达到 10nm 或更少)、Ti(达到 50nm 或更少) 和电极金属的半导体器件中，可以形成厚度为 20nm 或更小并每一种包含 1% 或更多的在 300°C 或更高温度的热处理中具有化学强力组合的 Pd 或 Pt 和 Ti 的 p 型半导体层。其中，Pd 或 Pt 形成在六角形晶体结构的 III-V 族复合半导体器件的 p 型半导体层的表面，在其上形成 Ti，再在其上形成向 p 型半导体层提供电流的电极金属。

(其它)

本发明和相关发明不局限于第一至第十实施例。半导体层的成分及厚度可作各种改变，而且可以相反地制成导电率。此外，可将本发明应用于诸如受光器件的电子器件和除了发光器件外的晶体管。

对于那些熟悉本技术的人员来说，容易获得附加的优点及变更。因此，在更广的方面，本发明不局限于这里所述的具体细节和各个器件。相应地，在不偏离由权利要求书及它们的等同文件定义的总发明构思的精神和范围的条件下，可以做各种变更。

说 明 书 图



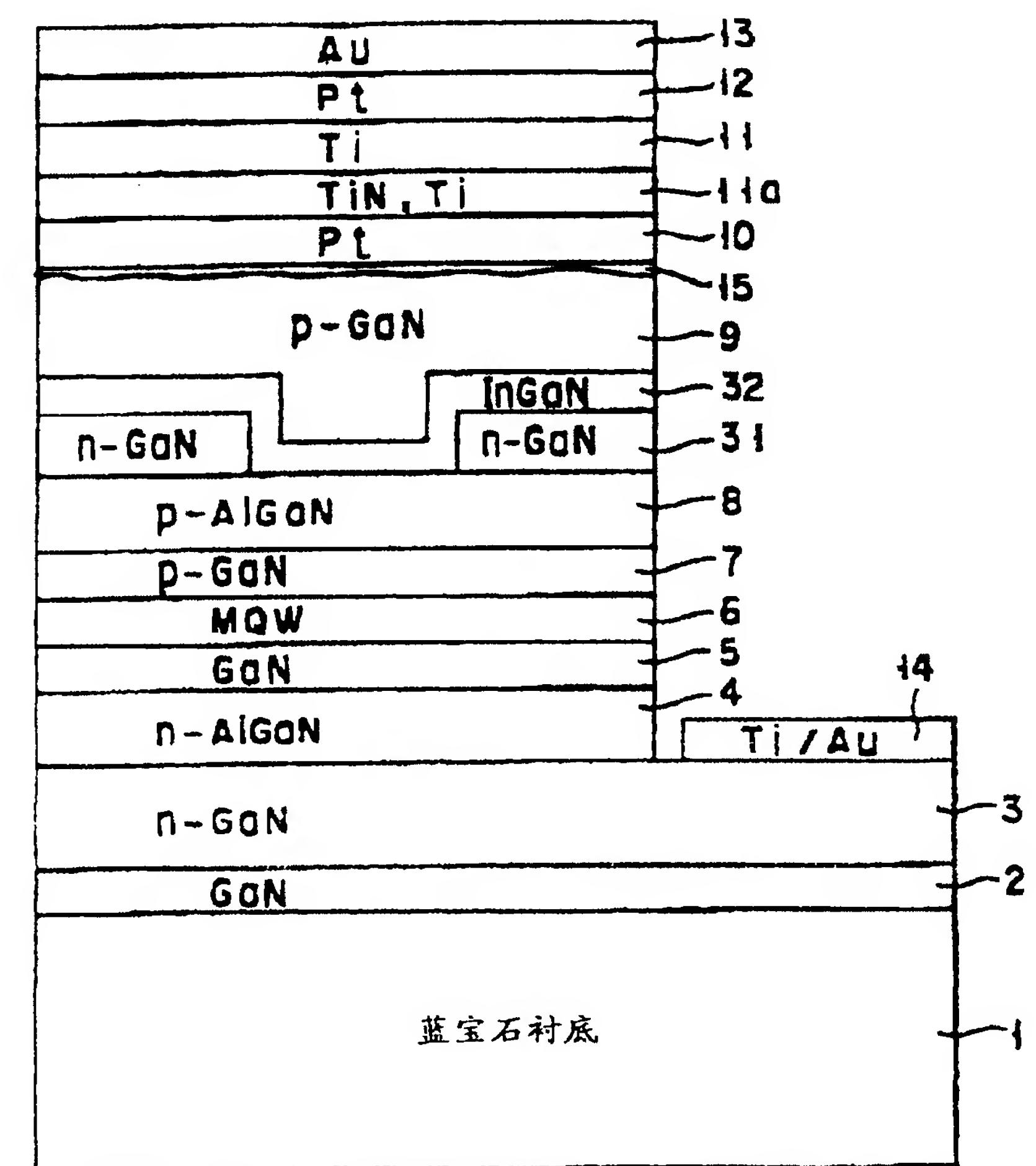


图 3

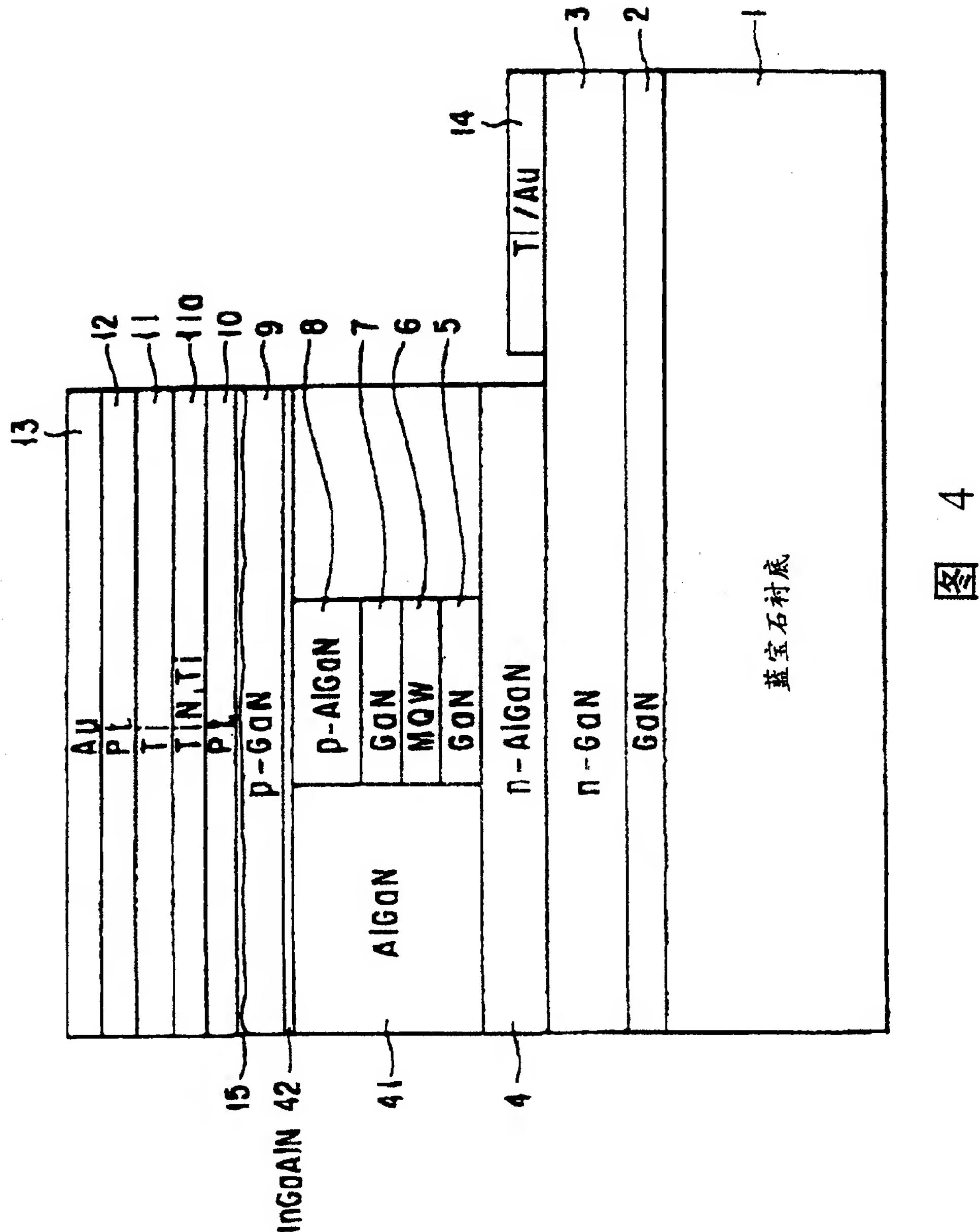


图 4

图 5

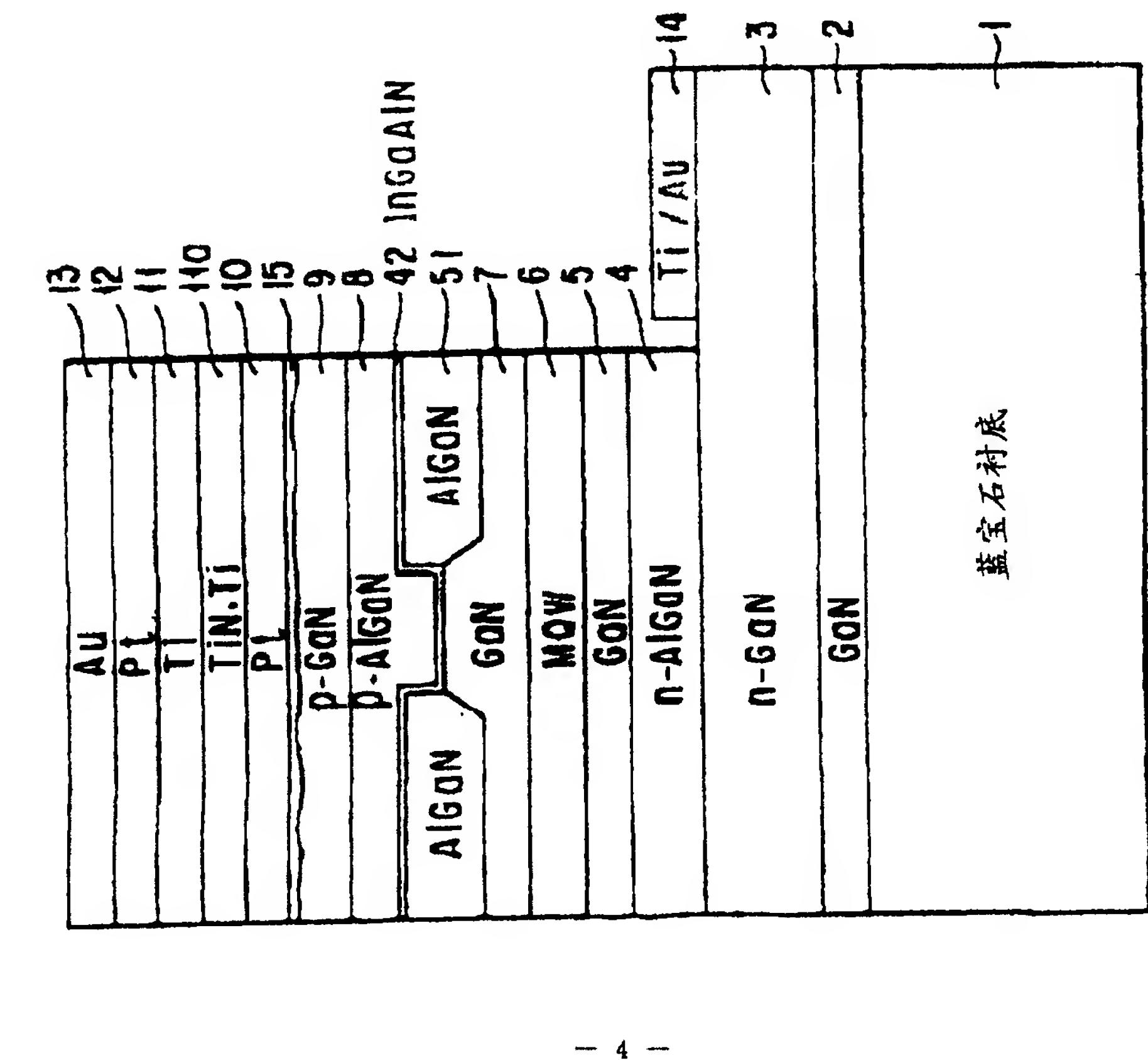


图 6

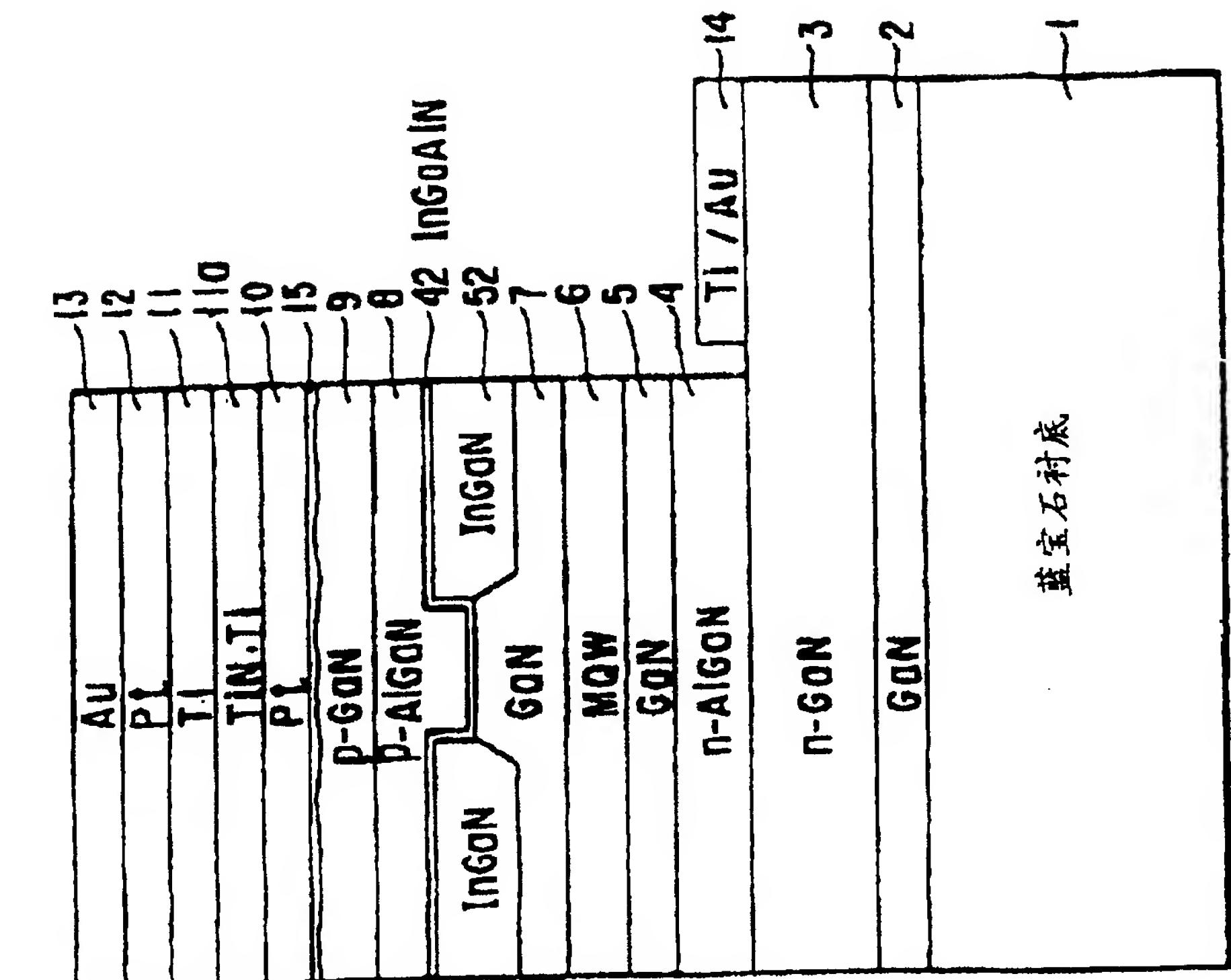


图 7

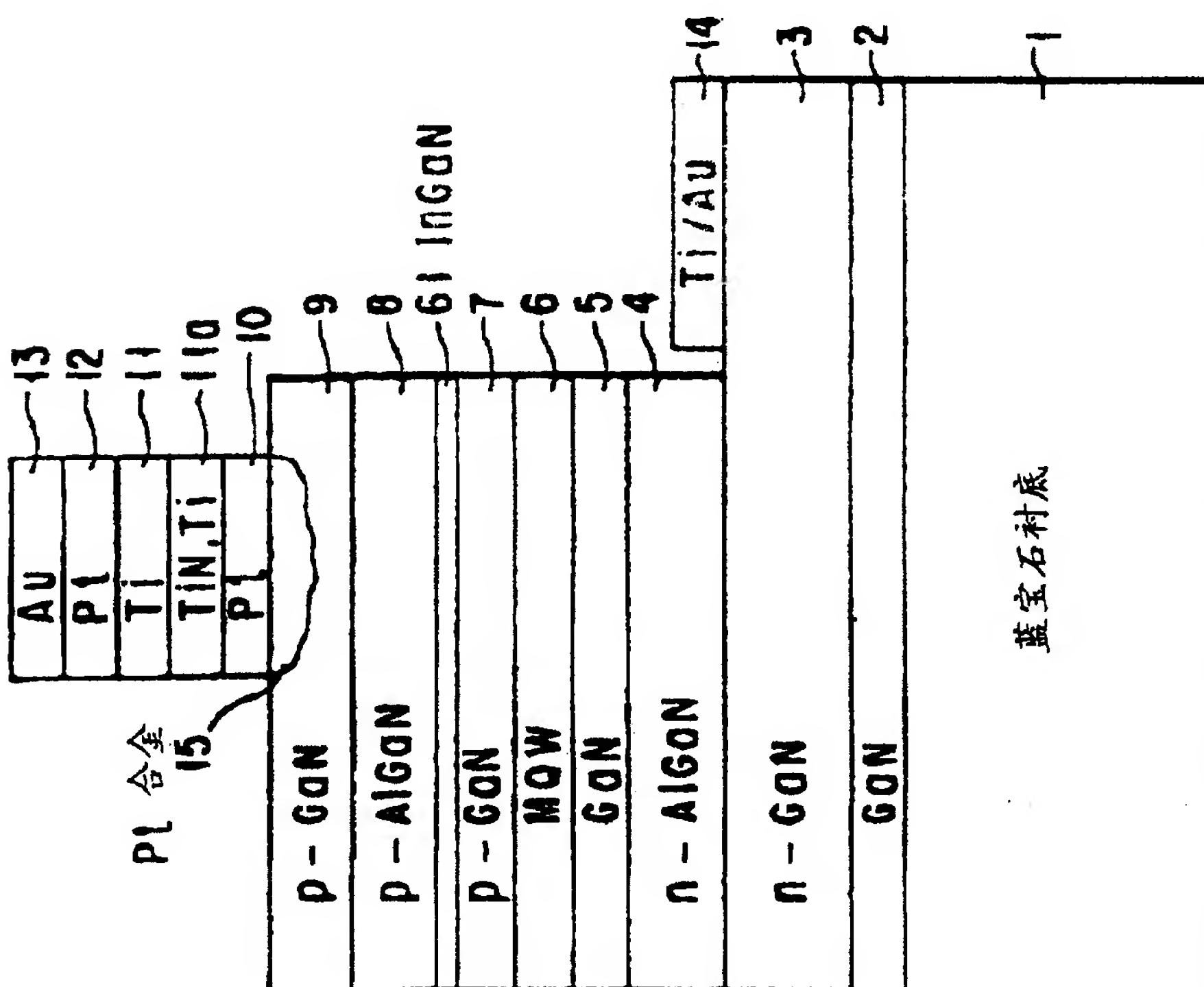


图 8

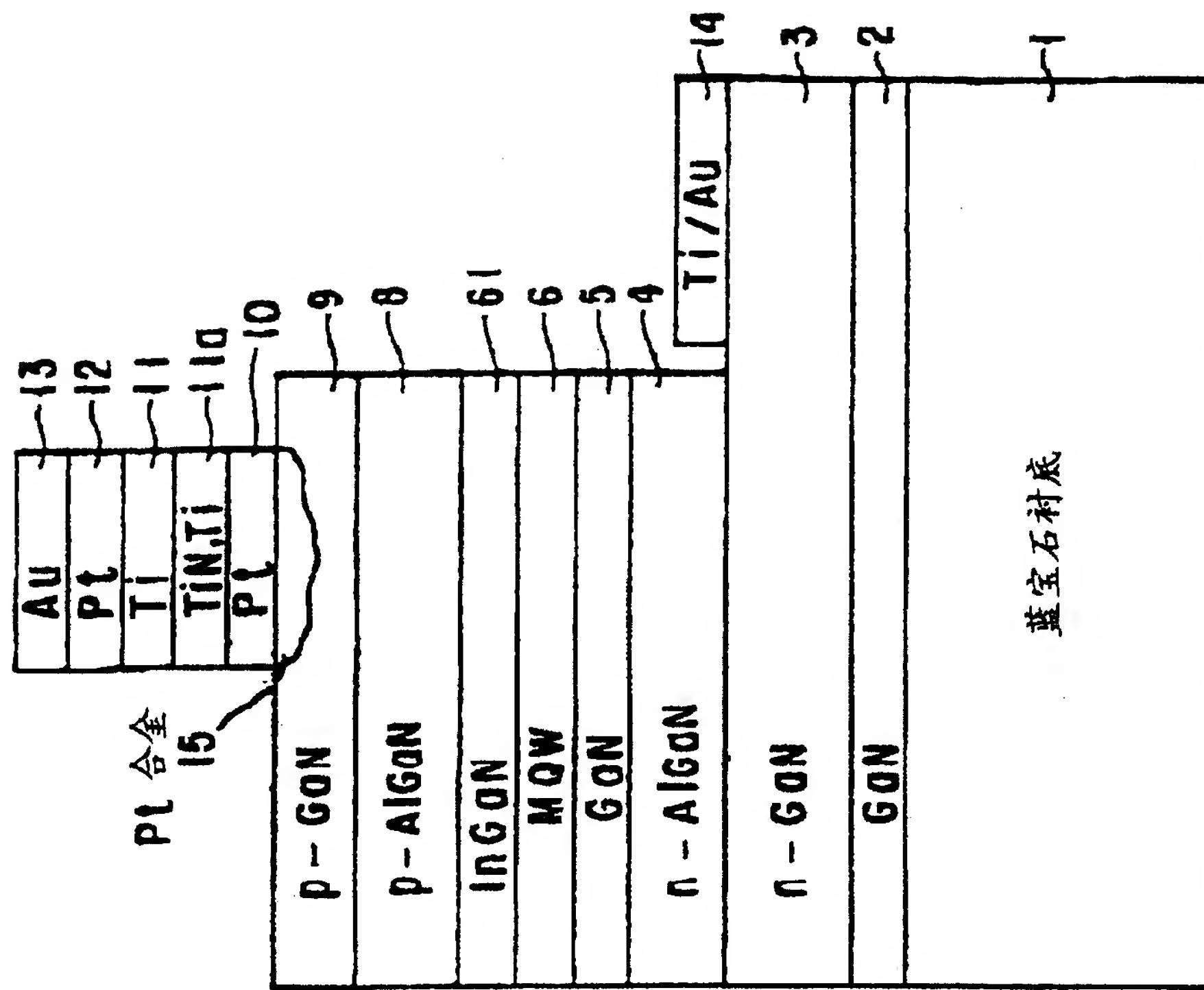


图 9

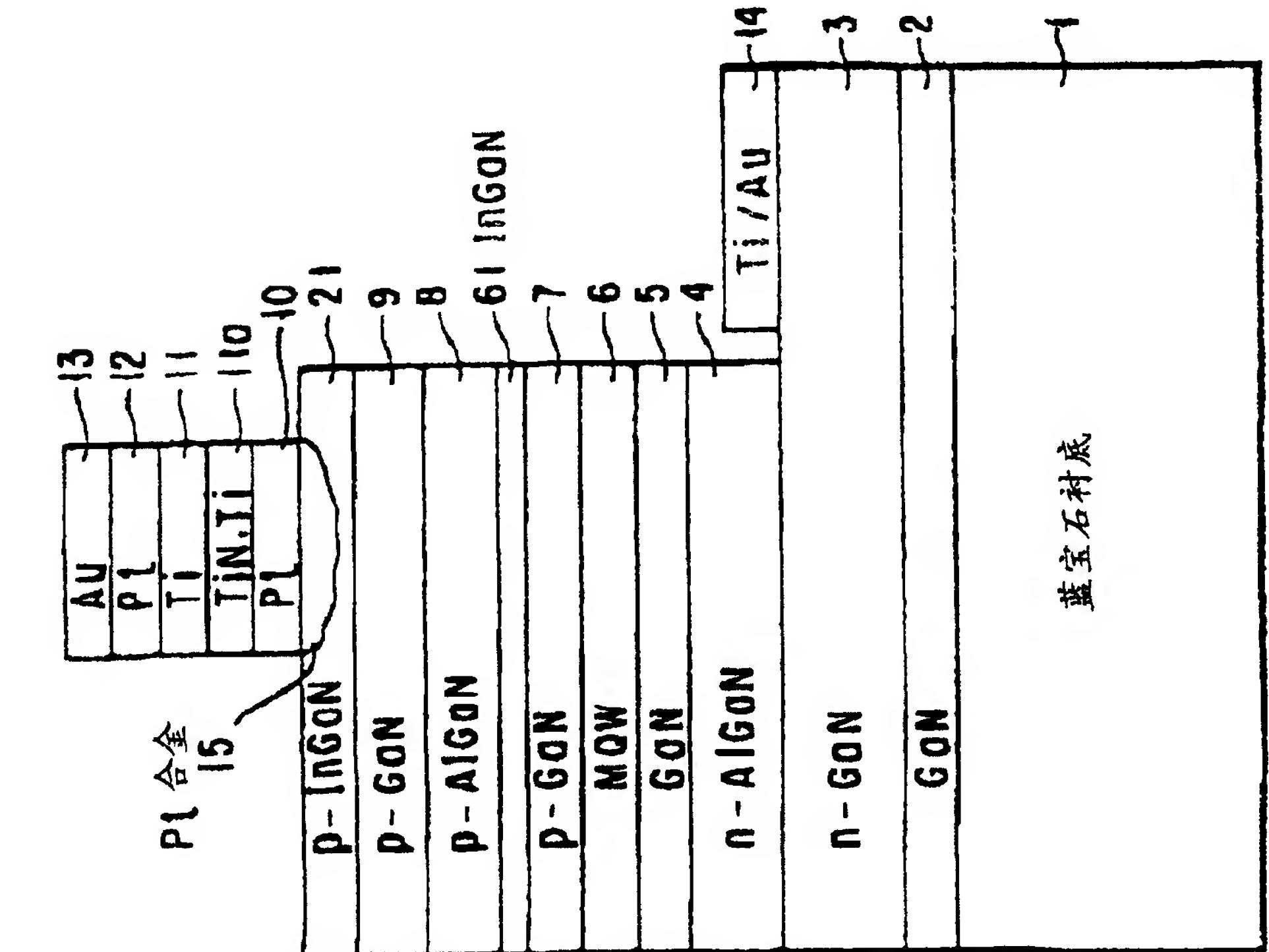


图 10

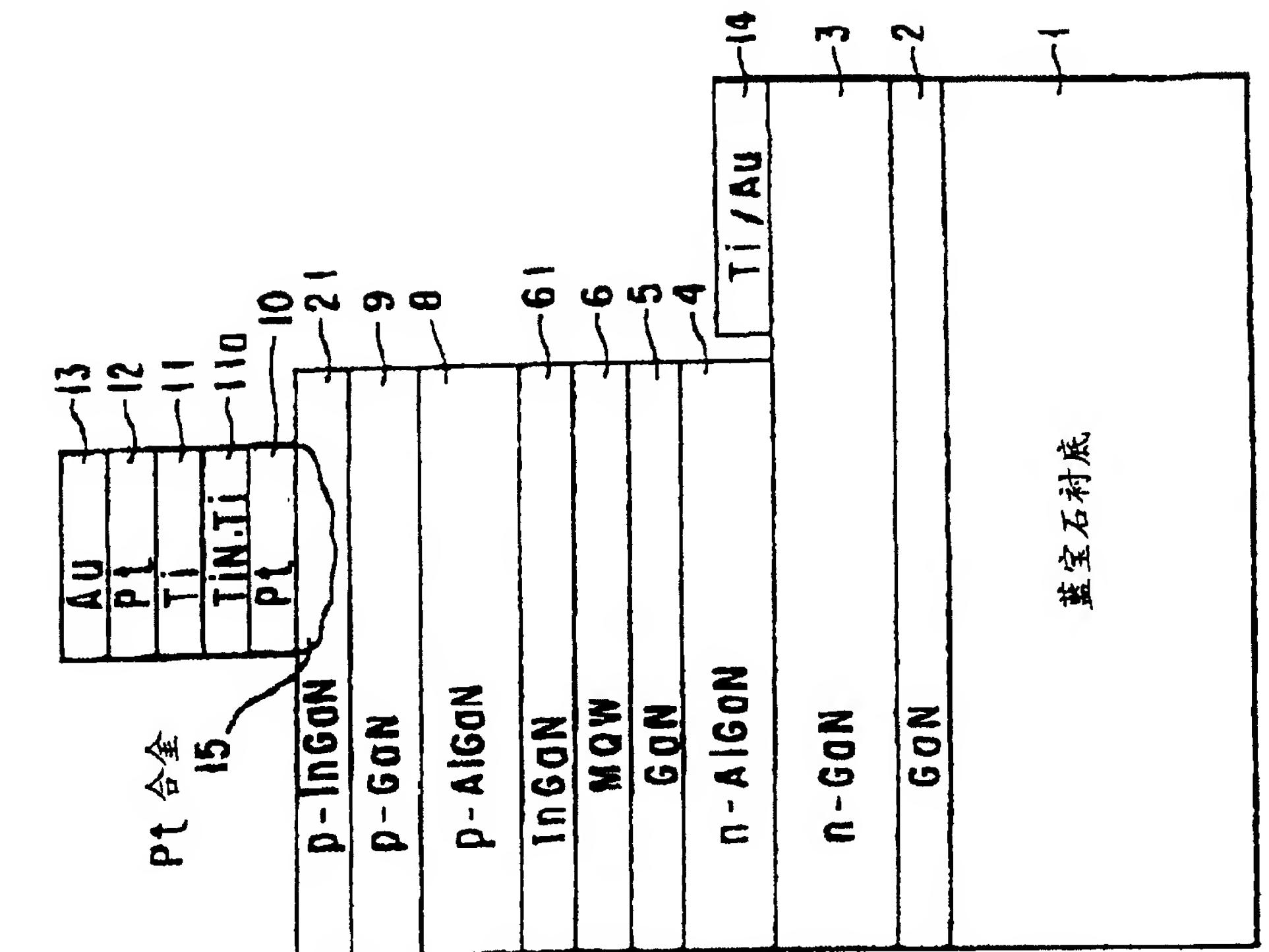


图 12

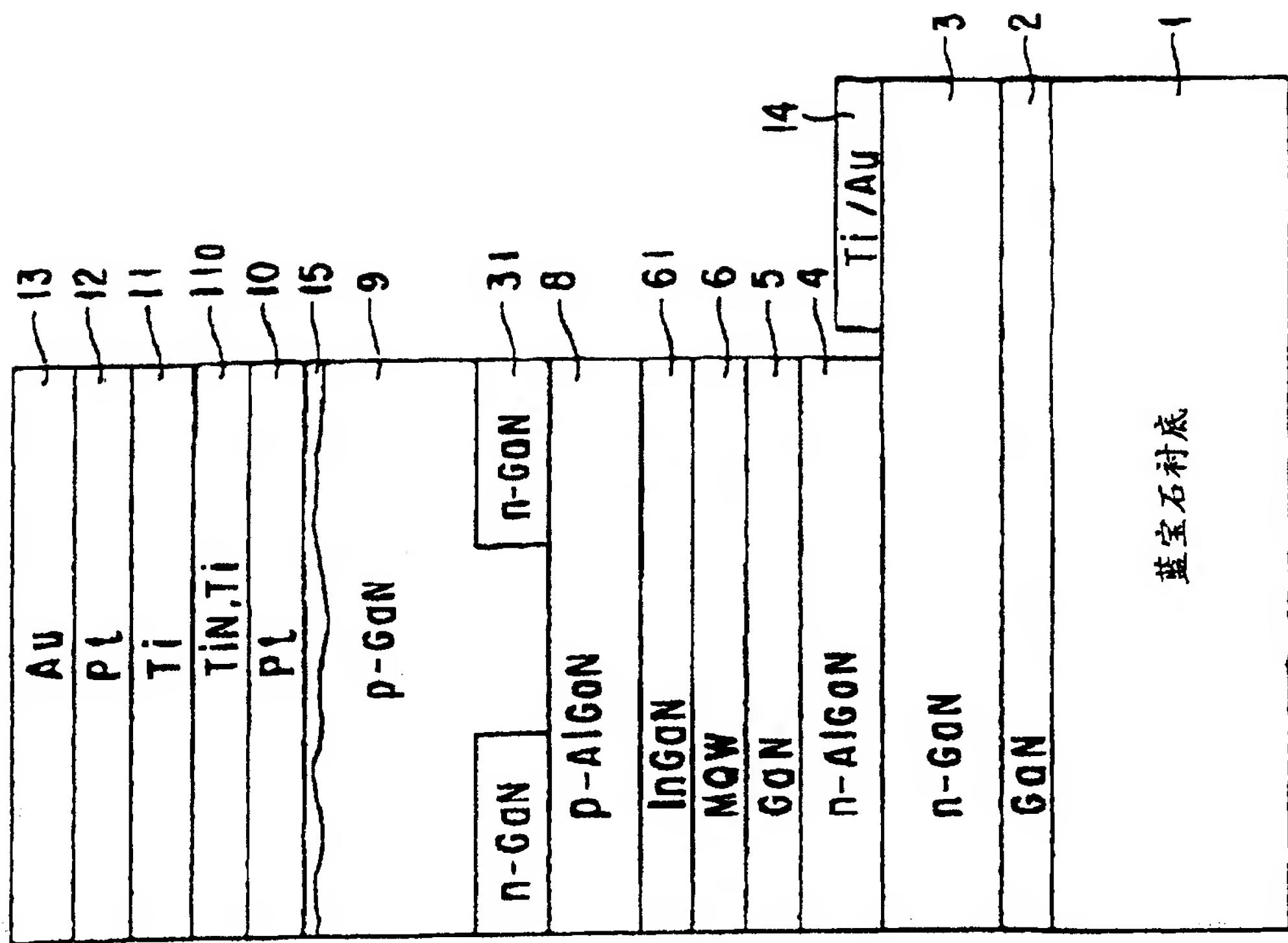


图 11

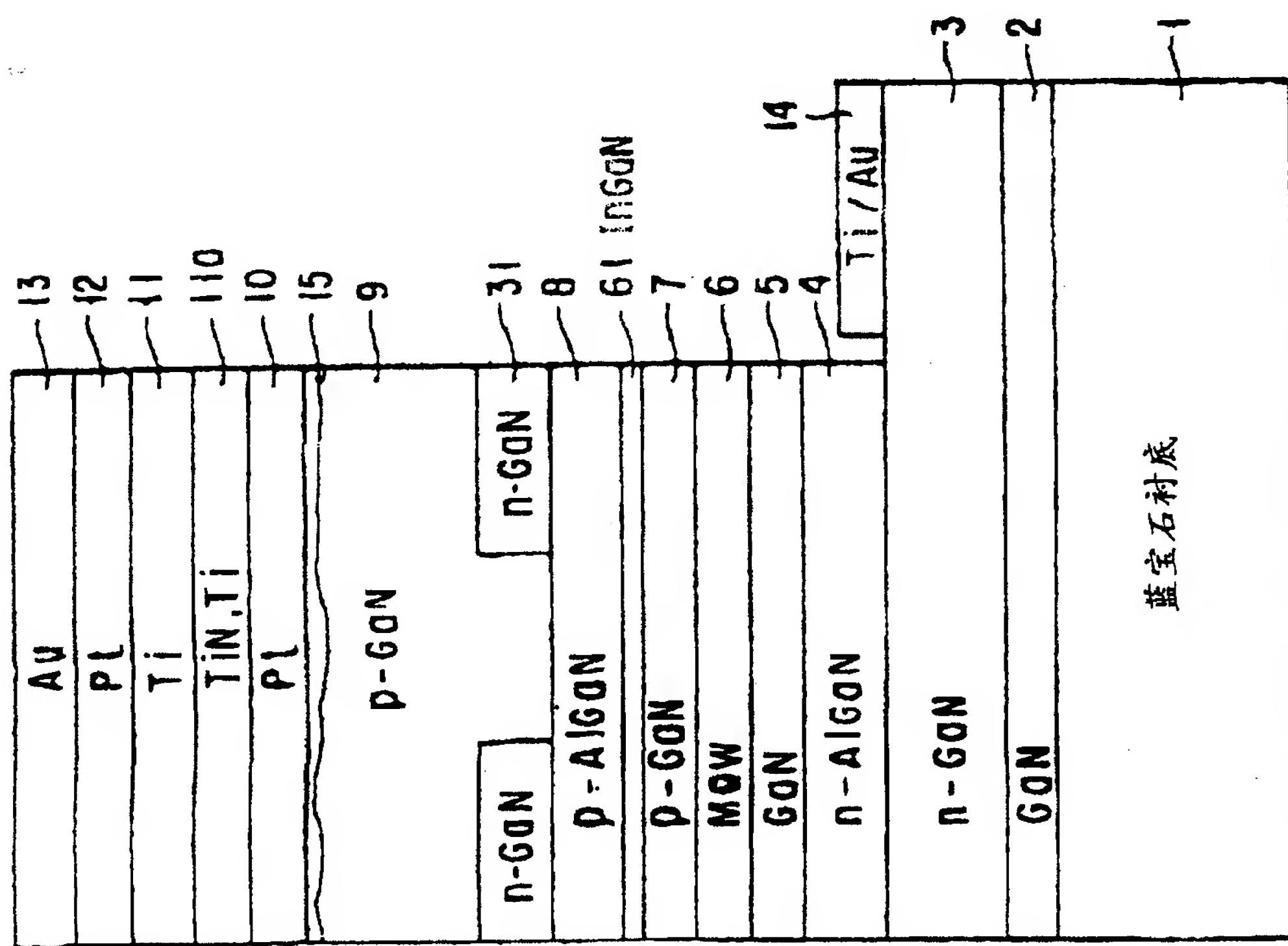
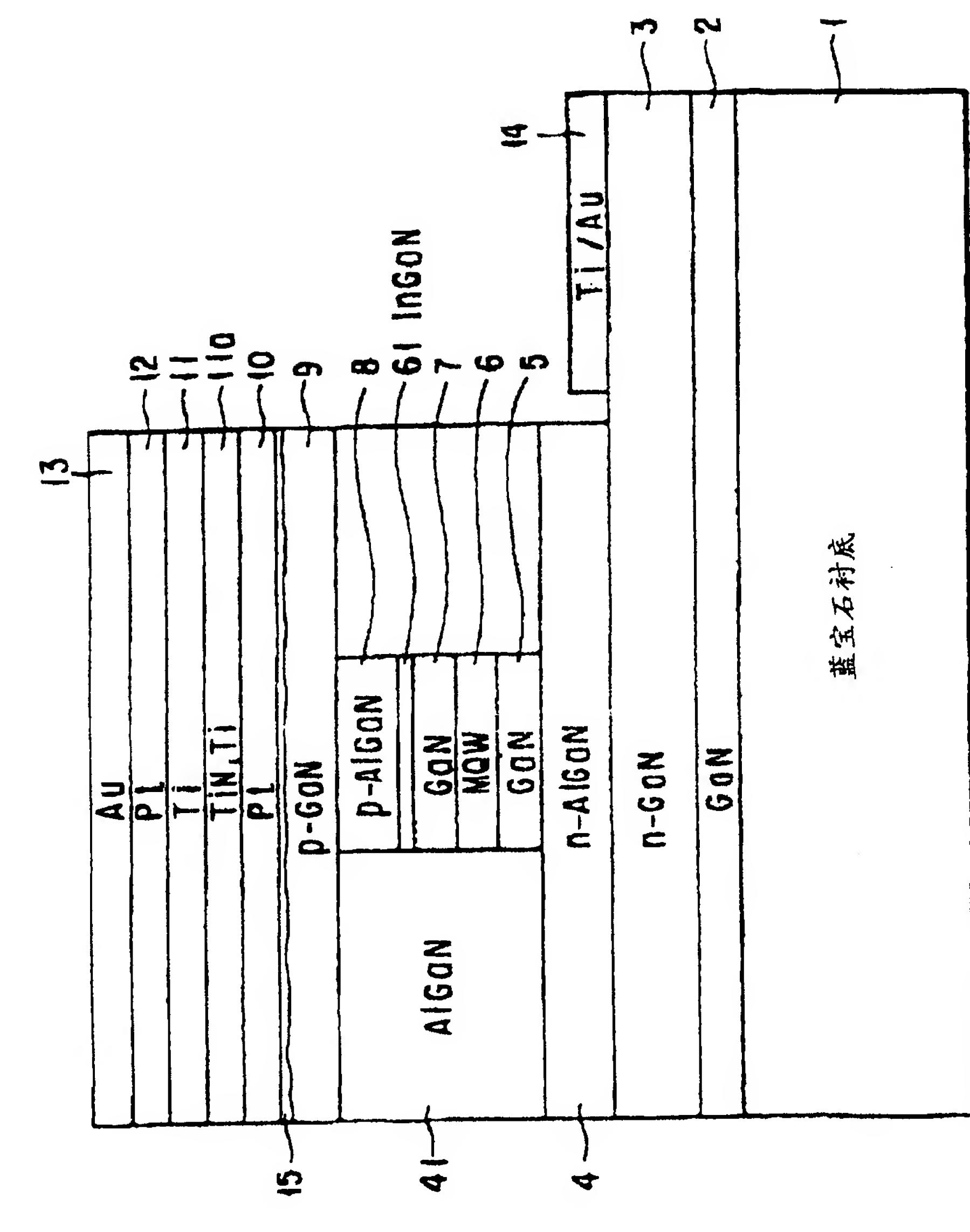


图 13



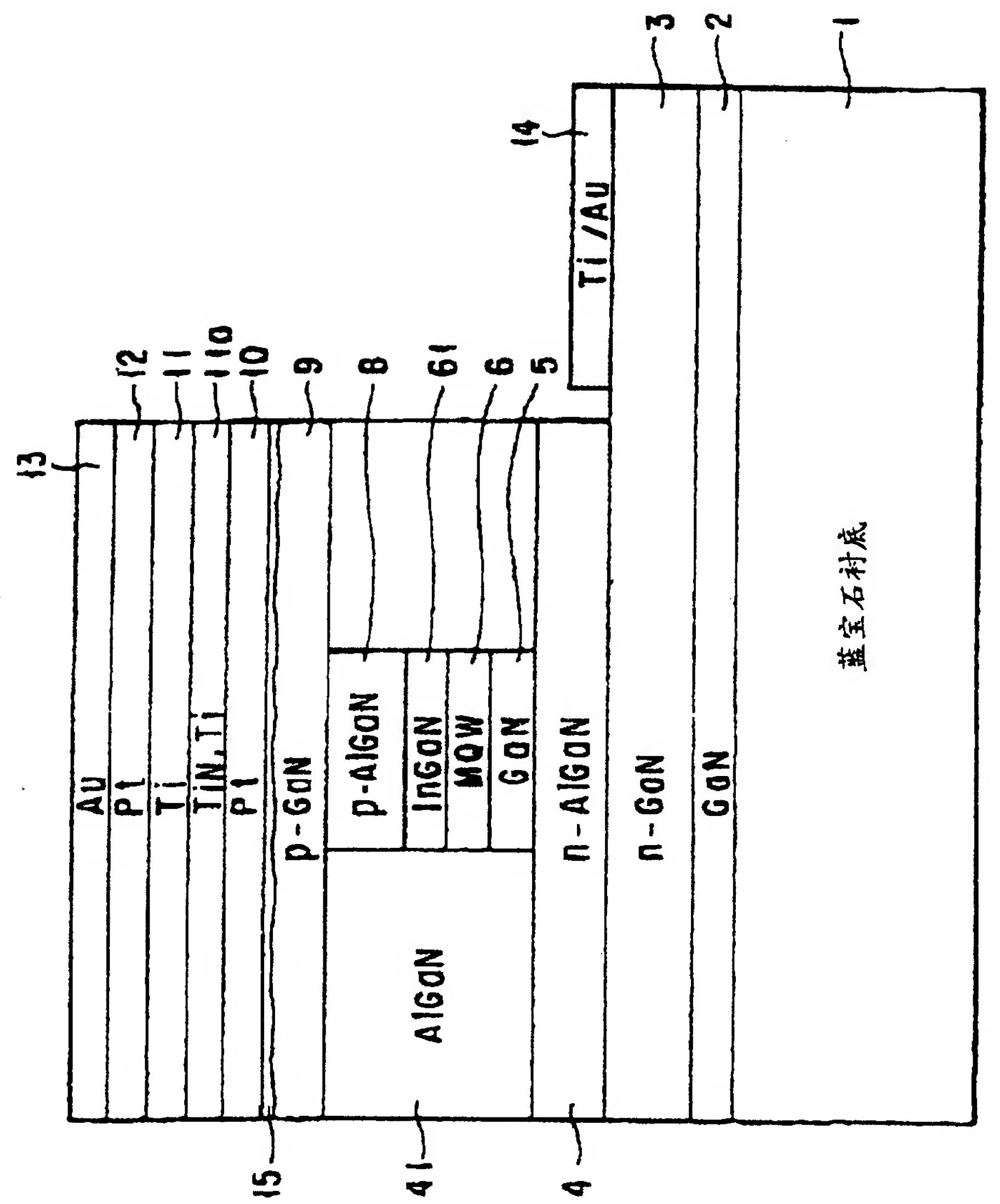


图 14

图 15

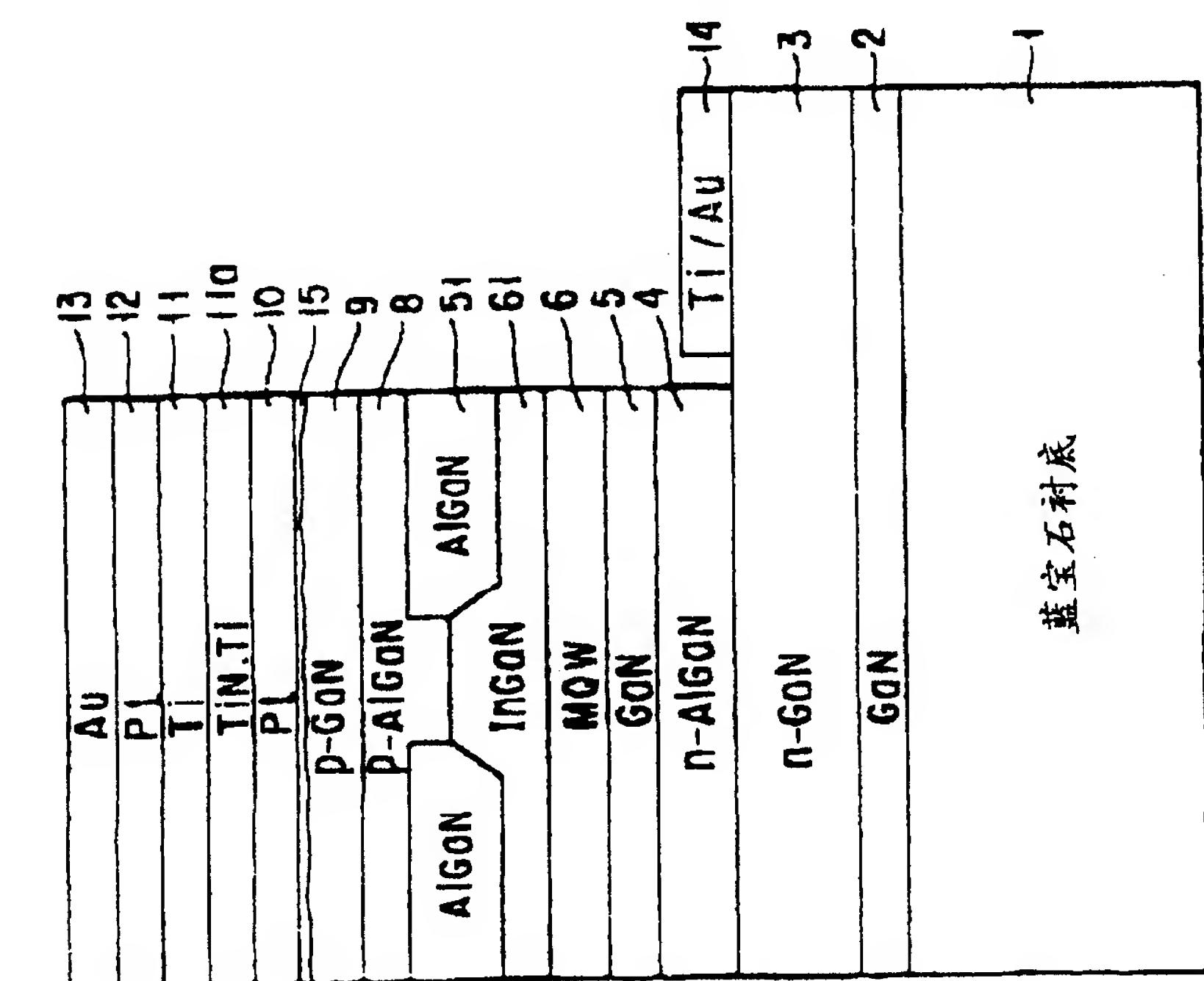


图 16

